

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»
Механіко-машинобудівний факультет
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню магістра

студента Яровий Роман Миколайович
академічної групи 131М-22Н-1 ММФ
спеціальності 131 Прикладна механіка
за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг
машинобудівного виробництва»

на тему: «Алгоритмічна модель спеціальної технології виготовлення
засобами Autodesk Netfabb в прогресивному технологічному процесі»
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від
30 квітня 2024 р. за №382-с

Встановлено, що матеріали даної кваліфікаційної роботи містять чутливу інформацію щодо реальних об'єктів критичної інфраструктури України, національної безпеки і оборони України, зокрема відомості про їх місце розташування, службове призначення, конструкторську і технологічну документацію, описи конструкторських матеріалів та їх властивості, іншу додаткову літературу та посилання. У зв'язку з чим такі матеріали не підлягають відкритому оприлюдненню та мають зберігатися відповідно до встановленого режиму закладом освіти.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

і машинобудування та матеріалознавства

В.А. Дербаб

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«__» _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ступеню магістра

студенту Яровий Роман Миколайович

академічної групи 131М-22Н-1 ММФ

спеціальності 131 Прикладна механіка

за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва» на тему: «Алгоритмічна модель спеціальної технології виготовлення засобами Autodesk Netfabb в прогресивному технологічному процесі» затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 30 квітня 2024 р. за №382-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
--------	-------	------------------

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 62 сторінки, 18 рисунка, 11 таблиця, 53 джерел, 2 додатки.

Ключові слова: заготовка, технологічний процес, режими різання, верстати з ЧПК, технологічна оснастка, верстатні інструменти, вимірювальні інструменти, верстатні приспособи, ротаційне різання.

Представлена кваліфікаційна робота магістра містить алгоритмічну модель спеціальної технології CAD-CAM засобами для якісної обробки деталі «Маточина переднього колеса» на високошвидкісних верстатах з ЧПК.

Об'єкт досліджень - процес обробки зовнішніх та внутрішніх поверхонь поверхонь обертання різанням.

Мета роботи - оптимізація параметрів обробки у CAD-CAM системах та впровадження технології у виробництво.

Предмет досліджень – проектування у CAD-CAM системах методів отримання кінцевого виробу як традиційними методами, так і методами адитивних технологій .

У кваліфікаційній роботі наведені аналіз технологічності деталі, вибір схем базування і установки заготовки на верстаті для операцій техпроцесу. На підставі розрахунків зроблено вибір способу отримання заготовки.

У технологічному розділі виконаний комплекс робіт технологічного проектування, спрямований на розробку маршрутно-операційного процесу механічної обробки і підготовлені вихідні дані для оформлення комплексу виробничої документації.

У конструкторському розділі спроектовано верстатне пристосування для механічної обробки деталі.

Науково-дослідницький розділ присвячений аналізу альтернативних технологій отримання якісного виробу методом адитивних технологій засобами інженерного продукту «Autodesk Netfabb»

У додатку до випускної роботи представлені маршрутні і операційні карти, карти ескізів та карти налагодження. Зроблені загальні висновки по роботі.

Робота пов'язана з науковим напрямом кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства та виконана відповідно договору про співпрацю та договором про нерозголошення конфіденційної інформації та комерційної таємниці з ТОВ «ДТМ-ІНЖИНІРИНГ».

ЗМІСТ

1 Аналітичний розділ.....	6
1.1 Вступ.....	6
1.2 Характеристика об'єкта виробництва.....	7
1.3 Встановлення виробничої програми випуску деталей.....	8
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	9
2 Технологічний розділ.....	10
2.1 Методи обробки поверхонь.....	10
2.2 Маршрут обробки деталі.....	12
2.3 Вибір і обґрунтування заготовок	14
2.4 Призначення припусків і розрахунок міжопераційних розмірів.....	18
2.5 Детальна розробка операцій технологічного процесу.....	20
3 Спеціальний розділ.....	43
3.1 Розрахунок та розробка конструкції затискного пристрою.....	43
3.1.1 Опис будови та роботи пристрою.....	43
3.1.2 Розрахунок сили затиску та визначення діаметру пневмоциліндру.....	44
3.2 Розрахунок пристрою на міцність.....	46
4 Науково-дослідницький розділ.....	48
4.1 Алгоритм підготовки деталі до 3D-друку та аналізу конструкції в програмному продукті Autodesk Netfabb	48
Висновки.....	48
Література.....	60
Додаток А.....	65
Додаток Б.....	83

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Вступ

При проектуванні технологічних процесів механічної обробки в сучасних умовах на перше місце виступають питання оптимізації багатьох, часто суперечливих факторів.

Обсяг виробництва виробів повинен строго відповідати потребам ринку. Структура технологічного процесу в цілому і для кожної операції окремо, а також організація виробництва, повинні забезпечувати оптимальну продуктивність і високу гнучкість виробництва.

Економічно обґрунтоване завантаження устаткування повинно забезпечуватися відповідною організацією виробничого заснованої на прогнозуванні і оперативному управлінні з використанням обчислювальної техніки, що дозволяє скоротити час на технологічну підготовку і простої верстатів в налагодженні.

Зниження частки механічної обробки, дозволяє відчутно знизити технологічну собівартість виробів, якщо використовувати заготовки з високим ступенем готовності та обладнання з широкими технологічними можливостями.

Значний ефект можливий від використання сучасного універсального інструменту і інструментальних матеріалів, що забезпечують високу швидкість різання і стійкість, що скорочує машиний час на оброблення, і час простою верстата в налагодженні.

Такий підхід до проблеми технологічного проектування лежить в основі даного дипломного проекту. Використано передове металорізальне обладнання та організаційна структура, що дозволяє організувати виробництво деталей дрібними партіями з високою продуктивністю і ступенем універсальності.

При детальній розробці операцій використані сучасні методи розрахунків режимів різання, діюча нормативно-технічна документація, та стандарти систем ЄСКД і ЄСТД.

1.2 Характеристика об'єкта виробництва

Деталь «Маточина переднього колеса» (рис.1) входить до складу кінематичного ланцюга механізму рульового управління автомобіля.

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Маточина в загальному випадку - це центральна частина тіла обертання з отвором (маховика, шків, зубчастого колеса і т. д.) для насадки на вал або вісь. Отвір маточини зазвичай має шпонковий паз або шліцьовий профіль для передачі крутного моменту. Якщо ж деталь вільно обертається на осі, то в отвір маточини запресовують заглушки або підшипники кочення.

Для забезпечення міцності зовнішній діаметр маточини приймають рівним 1,5 -2,0 діаметра отвору, для запобігання перекосу деталі на валу довжина маточини повинна бути не менше діаметра отвору.

Заміна маточини колеса - часта процедура, обумовлена виходом з ладу підшипників. У ряді випадків заміна підшипника можлива тільки разом з усією маточиною. Щоб підшипники виходили з ладу не настільки часто, слід ретельно підходити до вибору самих маточин, так як в деяких випадках маточина і підшипники - конструктивно одна деталь. Також дуже важлива своєчасна і якісна мастило. Елементи маточини не вимагають

ніякої регулювання протягом терміну її служби всього вузла, і в більшості випадків замінюються тільки разом з усією маточиною.

Маточина є втулкою, всередині якої знаходяться два підшипника, закриті сальниками.

Маточини виготовляються литими або точеними. Прикріплюються вони до задніх дисків за допомогою заклепок, болтів або зварюванням. Маточини служать для насаджування робочих коліс на вал, кріплять їх за допомогою шпонок і стопорних болтів. Станини відливають з чавуну або зварюються з листової сталі.

Маточина може бути розташована симетрично або несиметрично

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

1.3 Встановлення виробничої програми випуску деталей

Виробнича програма випуску деталей встановлюється в залежності від річної потреби виробів. Вважаємо, що річна потреба в маточинах становить

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

де a – періодичність запуску деталей у виробництво, днів;

Φ – кількість робочих днів у році.

Приймаємо розмір партії 150 штук. Таким чином, розмір партії буде кратний річній програмі випуску деталей, яка забезпечується запуском 29 партій.

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Деталь відноситься до класу втулок, тобто тіл обертання з довжиною менше двох діаметрів.

При обробці деталей класу «втулки» необхідно:

- 1) витримати пряmolінійність осі;
- 2) забезпечити концентричність зовнішніх і внутрішніх поверхонь;
- 3) забезпечити паралельність торців і перпендикулярність їх до поздовжньої осі.

Кількісну оцінку технологічності конструкції деталі виконаємо за двома з одинадцяти показників, передбачених ДСТУ 14.201-83.

1. Коефіцієнт точності обробки визначається за формулою:

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

11

При такому значенні коефіцієнта точності обробки деталей вважається технологічною, оскільки КТЧ більше нормативного значення (0,8).

2. Коефіцієнт шорсткості поверхні дорівнює:

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

3,04

Таке значення при обробці матеріалів з чавуну свідчить про технологічність деталі за даним показником.

Вимоги до основних конструкторським баз деталі не є завищеними і відповідають службове призначення деталі.

Застосований матеріал забезпечує виконання вимог до механічних властивостей поверхонь і деталі в цілому і має гарні технологічними характеристиками при різанням.

Співвідношення діаметрів ступенів сприятливі для продуктивної токарної і рівномірної концентрації операцій.

В цілому, технологічність конструкції деталі «Маточина переднього колеса» після якісного аналізу можна оцінити, як хорошу.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Методи обробки поверхонь

З метою спрощення обробки та зменшення собівартості випускаємої продукції проводимо аналіз точності деталей: аналіз технічних умов на виготовлення, аналіз вимог до точності розмірів і відносних поворотів, аналіз точності форми і шорсткості кожної поверхні деталей, аналіз технологічності.

Проектуємо технологічний маршрут механічної обробки деталі

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

поверхонь і методи обробки, які можуть забезпечити виконання вимог

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Внутрішня Ø90.....	14	12.5	Однокретне точіння
--------------------	----	------	--------------------

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Точні поверхні	✓	0,8	Точіння чистове
----------------	---	-----	-----------------

Не вказані граничні відхилення розмірів H14, h14, it2/2.

Аналіз точності показує, що всі розміри поверхонь задані в достатній кількості для їх обробки, величини розмірів відповідають нормальному ряду чисел, а відхилення розмірів відповідають нормальному ряду та діючим квалітетам.

Точними поверхнями маточини є внутрішні циліндричні поверхні Ø62P7 мм та Ø72P7 мм, які мають шорсткість Ra=0,8.

2.2 Маршрут обробки деталі

Технологічними базами для обробки всіх поверхонь деталі, будуть діаметри 114.1 мм і 210 мм.

Обробка деталі буде проводитися послідовно в два установи з перехопленням з основного в контр-шпиндель: спершу права сторона, потім ліва.

На першому установі зробимо:

- Зробимо торцювання деталі.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

- Потім токарної обробки діаметру 210мм.
- Після цього розточування отворів Ø72P7 мм, Ø63 мм, Ø90 мм.
- На наступному етапі зробимо свердління отворів Ø18мм, потім фрезерування контуру.
- Після цього зробимо свердління і нарізування різьблення отворів M8-7H.

На завершальному етапі маршруту обробки пропонується абразивна обробка. В деталі «Маточина переднього колеса» необхідно шліфувати дві поверхні. Отже, для шліфувальної операції доцільно застосовувати верстат з ЧПК. Основна економія при роботі на верстаті з ЧПК досягається за рахунок скорочення допоміжних операцій: переустановлення, налагодження та вимірювання.

Виконуємо промивку і продувку від залишків стружки СОР.

Технологічний процес виготовлення деталі «Маточина переднього колеса» завершується контрольною операцією, на якій здійснюється комплексний контроль розмірів поверхонь і їх взаємне розташування.

Пропонований маршрут обробки деталі приведений в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

№			
---	--	--	--

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

2.3 Вибір і обґрунтування заготівлі

При виборі заготовки для проектування технологічного процесу механічної обробки заданої деталі, необхідно врахувати її призначення і конструкцію, технічні вимоги, наведені в робочому кресленні, масштаб і серійність випуску, а також економічність виготовлення заготовки.

Оскільки на робочому кресленні деталі не зазначено вид заготовки та відсутні вимоги до структури матеріалу забезпечуються виключно способом її виготовлення, розглянемо спосіб отримання заготовки лиття у кокіль.

У цьому випадку форма заготовки в значній мірі наближена до форми готової деталі, а її конфігурація і конструктивні елементи залежать від виду застосовуваного технологічного устаткування.

Заготівлею для механічної обробки деталі буде виливок, виготовлена за допомогою лиття у кокіль. У цьому випадку форма заготовки в значній мірі наближена до форми готової деталі в тій її частині, де перепади ступенів більше 5 мм. ступеню точності Т3. Конфігурація заготовки приведена на малюнку .

Для раціонального вибору заготовки необхідно одночасно

враховувати призначення і конструкцію деталі, технічні вимоги, масштаб і серійність випуску, а також економічність виготовлення. Вибрати заготовку - значить встановити спосіб її отримання, призначити припуски на обробку кожної поверхні, розрахувати розміри і вказати вимоги до точності виготовлення.

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

маси (обсягу) $G_{п}$ вилівка до маси (обсягу) $G_{ф}$ геометричної фігури, в яку вписується форма вилівка. Геометрична фігура може бути кулею, параллелепипедом, циліндром з перпендикулярними до його осі торцями або прямий правильної призмою. При обчисленні відносини $G_{п} / G_{ф}$ приймають ту з геометричних фігур, маса (об'єм) якої менше. При

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Ø131	6,3	1,2	2,5	$133,5^{+1}_{-1}$
Ø210h12	12,5	2,5	3,2	$215^{+2,1}_{-1,1}$
Торцеві поверхні				
80	3,2	2,5	5,0	$85^{+3,3}_{-1,7}$

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Малюнок 1. Форма вимірювання

Масу заготівлі визначимо з урахуванням номінальних виконавчих розмірів заготовки і ухилів відповідно до малюнка 1.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

2.4 Розрахунок припусків на механічну обробку

Припуски на механічну обробку в значній мірі впливають на технологічну собівартість виготовлення деталі. Видалення надмірного припуску пов'язане зі збільшенням машинного часу на чорнову обробку, як в разі виконання додаткових обдирних проходів, так і за рахунок зниження режимів різання в разі значної глибини різання. При цьому підвищуються витрати ріжучого інструменту і загальні витрати на експлуатацію робочого місця.

Припуски на дві поверхні призначаємо статистичними (табличним) методом.

В цьому випадку загальний припуск приймається рівним припуску, призначеного на заготовку по нормативно-технічному документу (ДСТУ 26645-85), а припуск на обробку, наступну після чорнової, за таблицями, які наведені в довідковій літературі [11]. Методику розрахунку проілюструємо для внутрішньої поверхні діаметром 62P7 мм.

Загальний припуск на діаметр дорівнює 5,0 мм, допуск на розмір заготовки 2,5 мм (див. Табл. 2.3). На чистове точіння рекомендується припуск 1,2 мм на діаметр [11. табл.1], на чорнове шліфування - 0,4 мм.

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Максимальні операційні розміри відрізняються від мінімальних на величину технологічного допуску.

Граничні припуски для кожного переходу МОП визначаються шляхом віднімання граничних розмірів на двох сусідніх переходах:

Правильність обчислень перевіряється за формулою 9:

$$Z_{\text{іном}} = Z_{i \text{ min}} + |e_{i-1}| - |e_i| \quad (9)$$

Таблиця 5.1

МОП Торцева	Припуск,	Розрахунковий	Допуск,	Розмір, мм		Припуск, мм	

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

чистове	1,2	11,549	350	90	90,44	1,2	1,2
---------	-----	--------	-----	----	-------	-----	-----

2.5 Детальна розробка операцій технологічного процесу

Основна мета детальної розробки технологічної операції – розробка технологічної документації, що містить повну інформацію про зміст операції, її технологічному і метрологічному оснащенні, трудовитратах. Вихідними даними, визначальними послідовність операцій і їх призначення, є технологічний маршрут, наведений в таблиці 2.2. Призначення режимів

різання, вимог до точності розмірів здійснюємо на підставі результатів розрахунку міжопераційних припусків і розмірів, які наведені в таблиці 3.1.

Виготовлення деталі "Маточина переднього колеса» передбачає 2 технологічні операції механічної обробки (див. Табл.2.2). Розрахунок режимів різання виконаємо для шліфувальної операції. Детальна розробка всіх операцій механічної обробки приведена в технологічній послідовності їх виконання.

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

таблицю 2.5. Режими різання та стружколоми обираємо рекомендовані виробником інструменту.

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Таблиця 2.5

Інструмент	Перехід	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв
Установ 1					
Торцевий	Hoffman	Самост.			

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Фреза пошпал Салам 10 2/50					
Установ 2					

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

26 5634					
---------	--	--	--	--	--

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Операція 020, Внутрішліфувальна

Операція виконується на внутрішліфувальному верстаті з ЧПУ тМоделі Jainnher JHI-150CNC, Станина і основні вузли якого виготовлені з високоякісного чавуну Meehanite, що додають жорсткість і міцність конструкції для прецизійної обробки виробів, а також тривалий ресурс верстата в цілому. Поперечне переміщення супорта здійснюється на роликових опорах кочення, поздовжнє переміщення каретки здійснюється на загартованих напрямних ковзання за допомогою шарико пар і сервомоторів, що забезпечують жорсткість і точність рухів. Шліфувальний автоматичний цикл включає в себе: чорнове шліфування, правку круга, чистове шліфування, виходжування (полірування). Даний верстат забезпечує шліфування глухих і конусних отворів, профільних поверхонь (сферичних в тому числі), торцеве шліфування (опція). Робоча бабка виробу має можливість повороту $+8^{\circ}$ для шліфування внутрішніх конусних поверхонь. Шпиндель бабки виробу спирається на роликових підшипниках, які забезпечують високу точність обертання виробу. Привід шпинделя здійснюється від сервомотора з плавним регулюванням. Електрообладнання верстата оснащено за стандартом РЄ. Система ЧПУ Fanuc с 8,4 " кольоровим

дисплеєм має функцію самодіагностики з аварійною сигналізацією. Верстат оснащений пристроєм натягу ременя з мікрометричним регулюванням для гасіння вібрації шліфувального шпинделя.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Максимальний діаметр обробки над станиною	520мм
Прискорене переміщення	5 м/хв.
Максимальне переміщення	100 мм
Мінімальне переміщення	0,001 мм
Швидкість обертання	10-1000 об/хв.
Тип шпинделя	A2-5

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок та розробка конструкції затискного пристрою

3.1.1 Опис будови та роботи пристрою

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Рис.3.1 Ескіз затискного пристосування

При подачі повітря у штокову порожнину 1 поршень зі штоком переміщуються вліво, при цьому муфта 3, яка кріпиться до штоку 5 переміщується вліво. На тязі 5, в трьох гніздах муфти 3 розташовується одне з пліч г-подібного важіля 8, який обертається навколо штифта 7. Друге плече важіля розташовується в пазу підкулачника 9. При переміщенні тяги 5, г-подібний важіль обертається навколо вісі штифта 7 притискаючись до конічної поверхні муфти. Завдяки подачі повітря в без штокову порожнину 2 кулачок 10 затискує оброблювану деталь. Тяга з муфтою переміщуються в праву сторону і г-подібний важіль підіймає підкулачник з кулачком, деталь розтискується.

3.1.2 Розрахунок сили затиску деталі та визначення діаметру пневмоциліндру

Вихідні дані: $P_z=1200$ Н

Будуємо розрахункову схему:

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Для того, щоб заготовка не оберталась в затискному пристрої необхідно щоб виконувалась умова

$$F_{тр} \geq 2,5P_z$$

2.1

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

ДС 11 та 12 - шпечі важелів.

$l_1=42$ мм;

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

$$a = \sqrt{\frac{P}{\pi P_{\text{мат}}}} = \sqrt{\frac{3,14 \cdot 0,6}{\pi \cdot 0,6}} = 0,022 \text{ м} \quad 2.10$$

Зі стандартного ряду приймаємо $d=63$ мм.

Але враховуючи те, що на верстаті можлива обробка інших деталей де сили різання будуть більшими, тому приймаємо $d_{\text{ц}}=160$ мм.

3.2 Розрахунок пристрою на міцність

Розраховуємо штифт (поз.7) на зріз так-як він є найбільш слабким елементом пристрою.

При зрізі повинне зберігатися наступне рівняння:

$$[\tau] \geq \frac{P}{S} \quad 2.11$$

де P – зусилля на штифті;

S – площа перерізу.

Приймаємо, що штифт зроблений зі сталі 45 $[\tau]=220$ МПа

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad 2.12$$

$$[\tau] \geq \frac{4P}{\pi d^2} \quad 2.13$$

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

4. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

4.1 Алгоритм підготовки деталі до 3D-друку та аналізу конструкції в програмному продукті Autodesk Netfabb

Технологія «тривимірної друку» з'явилася в кінці 80-х рр. XX ст. Широке поширення цифрових технологій в області проектування (CAD), моделювання та розрахунків (CAE) і механічної обробки (CAM) стимулювало вибуховий характер розвитку технологій 3D-друку, і в даний час вкрай складно вказати область матеріального виробництва, де в тій чи іншій мірі не використовувалися б 3D-принтери.

Аддитивні технології припускають виготовлення (побудове) фізичного об'єкта (деталі) методом пошарового нанесення (додавання, англ. - «add») матеріалу, на відміну від традиційних методів формування деталі, за рахунок видалення (subtraction - віднімання) матеріалу з масиву заготовки.

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

процесі дозволяє створювати вироби більш високої якості дешевше і швидше.

Переваги використання 3D-друку в машинобудівній галузі:

Можливість виготовлення унікальних по геометрії деталей, які неможливо створити традиційними способами. Те, що ще вчора здавалося

фантастикою, сьогодні ви можете виготовити всього за пару годин на 3D-принтері.

Скорочення термінів виробництва. 3D-принтер дозволяє надрукувати готовий виріб за кілька годин, тоді як традиційними технологіями потрібні тижні, а іноді - місяці.

Усунення «людського фактора», зниження ризиків і помилок. Виріб, створений за допомогою 3D-принтера, на 99% повторює CAD-модель.

Поліпшення параметрів готових виробів: зниження ваги, підвищення точності і міцності. Продукція 3D-принтерів має низку переваг у властивостях.

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

меланжізмів, які забезпечать плавну роботу ваших розробок.

Виробниче оснащення. 3D-друк - це можливість швидко виготовляти зручне і ефективне оснащення для прискорення виробництва.

Ливарні моделі. На 3D-принтері ви можете виготовляти високоточні восківки, випалювані моделі, зразки для лиття в силікон.

Готові до експлуатації виробу. Друкуйте деталі, які відразу можна використовувати у виробництві: деталі механізмів, частини для ремонту, елементи двигунів і конструкцій, інструменти.

4.2 Опис програмного продукту Autodesk Netfabb Premium 2019

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

залежності від рівня підготовки та очікувань можливо власноруч змінювати структуру та об'єм заповнення моделі(регулювання товщини стінок, згладжування нерівностей, зміна ґратки друку).

Також можлива конфігурація підтримок сборки. Необхідно визначити зони, які потребують підтримки та, використовуючи напівавтоматичні інструменти, виправити модель.

До можливостей програми також необхідно віднести: автоматичну упаковку деталей в збірці (2D та 3D); генерування звітів про стан моделі та її фізичні та геометричні особливості; можливість власноруч розробляти та визначати траєкторії побудови деталі; інтегрований аналіз роботи; інтегрування власних виробничих машин до бази даних Netfabb; інтегрування власних технологій друку.

4.3 Характеристика обладнання.

Для наукового дослідження було обрано верстат п'ятикоординатний оброблювальний центр DMG Mori LESERTEC 30 SLM з функцією селективного лазерного наплавлення, постпроцесор якого вже містився в базі даних програми. В таблиці 4.3 наведено перелік основних характеристик верстата.

Таблиця 4.3

Характеристика	Значення
----------------	----------

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

4.4 Методика підготовки 3D моделі для друку.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

3. Обираємо верстат моделі DMG Mori LESERTEC 30 SLM та натискаємо на посилання «Save machine»

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

4. Переходимо до робочої зони верстата за посиланням «Open».

5. У вкладці «File» переходимо за посиланням «Import CAD file as a mesh» та додаємо 3D-модель до робочого простору верстата.

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

6. Розміщуємо деталь на столі верстата, перетягуючи за кути форми та цент заготівлі. Контроль за положенням заготівлі на столі верстата виконуємо, перемикаючи між іконками зміни погляду в верхній частині робочої зони екрану.

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

7. Натиснувши на посилання «Orient part», обираємо варіант розміщення деталі під час друку із переліку запропонованих (рис 4.46а). Програма автоматично визначає слабкі місця під час друку та посилює їх

підтримувючими добудовами(рис 4.46б).

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

можна додати переходячи за посиланнями «Creat Supports» чи «Import Supports». Стратегію побудови деталі змінити можна через посилання «Build Strategy».

Величину зависання деталі над столом верстата регулюємо параметром «Force above platform»(залежно від технології виготовлення).

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

опцію «New Analysis».

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

11. Необхідні перетворення в кристалічній ґратці моделі виконуємо через опцію «Modify», далі «Lattice Assistant». Обираємо необхідну ґратку, регулюємо процент заповнення деталі матеріалом. За необхідністю кристалічну ґратку моделі можна створити самостійно, відмалювавши її власноруч

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

12. Натискаючи «Calculate» та «Apply», генеруємо нові дані для створення моделі.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

13.Переходячи за посиланням «Generate Visualization», отримуємо
візуалізацію процесу створення деталі пошарово.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

у вкладці «System».

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

16.Перейшовши за посиланням «Simulation Utility LT», відкриваємо програму для візуалізації друку верстата.

17. У вкладці «Processing Parameters» обираємо матеріал та регулюємо

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

18. У вкладці «Materials» можна обирати матеріал з бази даних, змінити параметри його використання або додати власний матеріал.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

19. У вкладці «Machine» можна регулювати параметри екструдерів
верстата, поєднувати матеріали для створення деталі, призначаючи камери
завантаження порошку.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

21. У вкладці «View logs» можна отримати всю інформацію про деталь та процес обробки

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

22. На цьому етапі модель готова до друку. Кінцева цифрова модель деталі має наступний вигляд.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

4.5 Виготовлення натурної моделі

Для демонстрації можливостей 3D друку було вирішено виконати натурну модель деталі «Маточина переднього колеса» з PLA пластику, що є екологічно безпечним матеріалом.

3D-модель деталі було збережено у форматі STL. За допомогою програми-слайсера «Cura» файл було підготовлено до друку: зменшено в

масштабі 1:2; відсоток заповнення моделі матеріалом встановлено на рівні 50%.

Друк натурної моделі виконувався на верстаті китайського виробництва «DDKUN 200».

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.



Рис 4.51 – Готова деталь на столі верстата

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

4.6 Висновки

В спеціальному розділі було проведено комп'ютерний дослід використання аддитивних технологій в машинобудування для отримання готової продукції згідно конструкторського документа у програмному продукті «Autodesk Netfabb Premium 2019».

Було встановлено наступні факти:

1) Можливість виготовлення унікальних по геометрії деталей, які при створенні традиційними способами вимагають додаткового інструмента та оснастки. В деталі «Маточина переднього колеса» такою є складний профільний контур з радіусом 10 мм.

2) Скорочення термінів виробництва. 3D-принтер дозволяє надрукувати готовий виріб за кілька годин, тоді як традиційними технологіями потрібні тижні, а іноді - місяці. Машинний час друку деталі «Маточина переднього колеса» з пластику становить 123 хв.

3) Можливість помилки зведена до мінімуму, готовий виріб повністю повторює CAD-модель. Завдяки програмному керуванню процесом виготовлення повністю виключено «людський фактор».

4) Завдяки можливостям обладнання та програмного продукту можливе зниження ваги деталі та її міцності, використовуючи процеси регулювання макроструктури об'єкта.

5) Завдяки гнучкості обладнання та софту створюється можливість управляти фізико-механічними властивостями деталей шляхом змішування різних матеріалів (наприклад, сплавів різних металів).

ЛІТЕРАТУРА

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

машини в процесі проектування [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю «Галузеве машинобудування» / В. М. Гейчук ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,39 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 394 с.

6. Технології формоутворення сучасних складнопрофільних деталей [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій «Технології виготовлення літальних апаратів», «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. В. Петраков, С. В. Сохань, В. К. Фролов, В. М. Кореньков. – Електронні текстові дані (1 файл: 15,26 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 380 с.

7. David A. Stephenson, John S. Agapiou Metal Cutting Theory and Practice. Third Edition 2016 by Taylor & Francis Group, LLC 932p.

8. Найкращі рішення для обробки. Лінійка необертальних інструментів. Токарна обробка. Обробка канавок. Різьбонарізання. Відрізання. Метрична версія каталогу 2019. 08/2020 3395080. Member IMC Group ISCAR / www.iscar.com.ua.

9. Найкращі рішення для обробки. Фрезерування. Свердління. Інструментальна оснастка. Метрична версія каталогу 2020-2021. 10/2020 3395081. Member IMC Group ISCAR / www.iscar.ua

10. Петраков Ю.В., Мацківський О.С. Моделювання фрезерування кінцевими фрезами. Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування №1 (73). 2015.

11. Петраков Ю.В. Розвиток САМ-систем автоматизованого програмування верстатів з ЧПК: Монографія. – Київ, Січка, 2011. – 220 с.

12. Дубовой В.М. Моделирование та оптимізація системи: підручник / Дубовой В.М., Кветний Р.Н., Михальов О.І., Усова А.В. – Вінниця: ПП «ГД Едельвейс», 2017. – 804с.

13. Васильченко Я.В. Математичне моделювання процесів різання та різальних інструментів. Практикум. ДДМА, Краматорськ, 2019. – 249с

14. Zhuravel, O . Yu , Derbaba, V.A., Protsiv, V.V., & Patsera, S.T. (2019). Interrelation between Shearing Angles of External and Internal Friction During Chip Formation. Solid State Phenomena. Materials Properties and Technologies of Processing, (291), 193-203. - 2019. doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.291.193

15. Kravchenko, Yu., & Derbaba, V. (2020). Empirical definition of the shearing angle and chip-edge contact length when cutting. Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 63, 123-133. <http://znp.nmu.org.ua/index.php/en/archives/33-63en/358-63en11>.

16. Щербина Є.Ю. Критерії стійкості ріжучого інструменту для висошвидкісної обробки / Є.Ю. Щербина, В.А. Дербабя, В.А. Козечко // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2022 – № 67 – С.77-95 <https://doi.org/10.33271/crpnmu/67.077> .